

Klimaschutzkonzept 2030 Karlsruhe

Zusammenfassung Potenziale und Szenarien

Inhalt

1	Einleitung.....	2
2	Bilanzen 2017.....	3
2.1	Endenergie	3
2.2	CO ₂	4
3	Potenziale.....	6
3.1	Einsparung Strom	6
3.2	Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien.....	7
3.3	Überblick Potenziale Strom	9
3.4	Einsparung Wärme.....	10
3.5	Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien.....	11
3.6	Überblick Potenziale Wärme	13
3.7	Potenziale im Verkehrsbereich.....	13
4	Szenarien	15
4.1	Szenario Trend 2030 („weiter wie bisher“)	15
4.2	Szenario Karlsruhe Klimaaktiv 2030	16
4.3	Szenario Karlsruhe Klimaneutral 2050.....	16
4.4	Szenarienvergleich Endenergie.....	17
4.5	Szenarienvergleich CO ₂ -Emissionen	20
4.6	Ableitung prioritärer Handlungsfelder	22
5	Anhang	23
5.1	Methodenteil	23
5.2	Quellenverzeichnis	28

1 Einleitung

Der vorliegende Zwischenbericht fasst die wesentlichen Ergebnisse aus der Potenzialanalyse und der Szenarientwicklung für das neue Klimaschutzkonzept der Stadt Karlsruhe zusammen.

Für die Berechnung der Einsparpotenziale und Szenarien wurde das **Jahr 2015 als Referenzjahr** gewählt - aus folgenden Gründen: Zum einen standen die Daten der vorläufigen Energiebilanz 2017 zum Zeitpunkt der Berechnung der Einsparpotenziale und Szenarien noch nicht abschließend zur Verfügung. Zum anderen war die Energiebilanz für 2015 dagegen bereits finalisiert und die Daten entsprechend validiert und belastbar.

2 Bilanzen 2017

An dieser Stelle werden aus Aktualitätsgründen die wichtigsten Daten der Energiebilanz (Erstellung durch das ifeu-Institut in Heidelberg) für das Jahr 2017 dargestellt.

2.1 Endenergie

Insgesamt wurden in der Stadt Karlsruhe im Jahr 2017 8.235 GWh Endenergie verbraucht. Über 50% der gesamten Verbräuche gehen auf den Anwendungssektor Wärme zurück.

Tabelle 1: Endenergieverbräuche nach Anwendungssektoren [GWh]

Anwendungssektoren	Endenergieverbrauch 2017	
	[GWh]	
Wärme	4.416	
Strom (ohne Verkehrsstrom)	1.703	
Verkehr	2.116	
Gesamt	8.235	

Die Aufteilung der Endenergieverbräuche nach Verbrauchssektoren ist in Karlsruhe recht ausgeglichen. Alle vier Sektoren haben derzeit einen Anteil von grob einem Viertel (Gewerbe/Handel/Dienstleistungen sowie Stadtverwaltung zusammengefasst).

Tabelle 2: Endenergieverbräuche nach Verbrauchssektoren [GWh]

Verbrauchssektoren	Endenergieverbrauch 2017	
	[GWh]	%
Private Haushalte	1.993	24
Industrie	2.156	26
GHD	1.766	21,5
Verkehr	2.116	26
Stadt	205	2,5
Gesamt	8.235	100

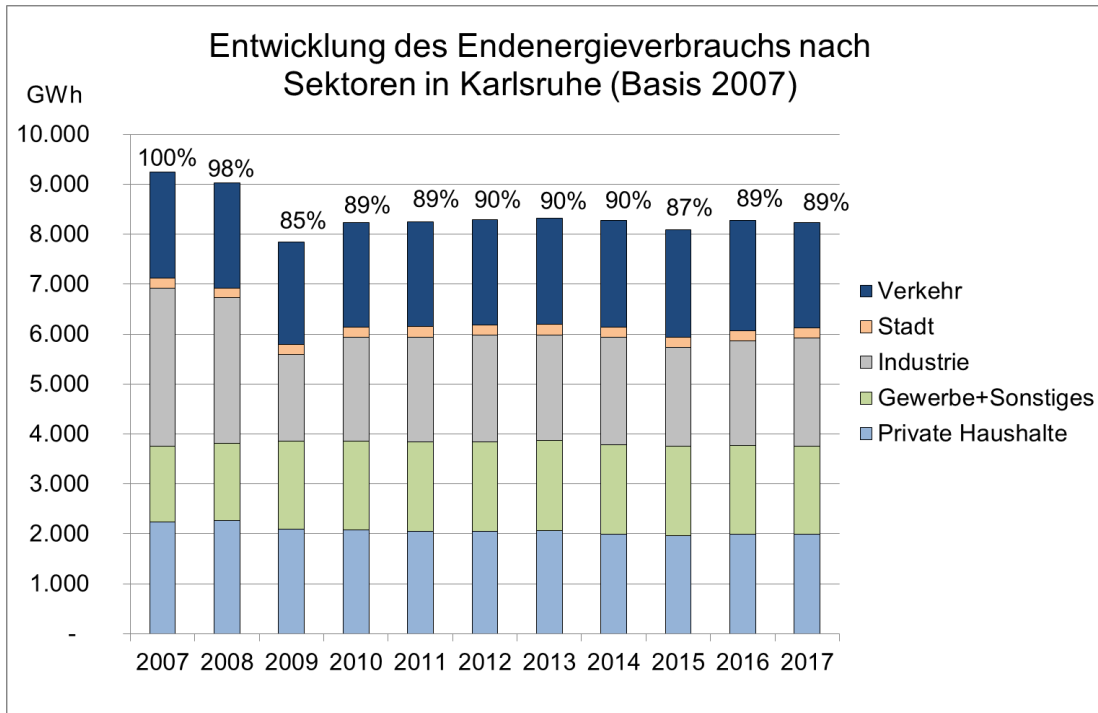


Abbildung 1: Endenergieverbräuche nach Verbrauchssektoren (Quelle: ifeu)

2.2 CO₂

Betrachtet man die Verteilung der CO₂-Emissionen auf die Anwendungssektoren so ergibt sich ein anderes Bild: Fast 40% der Emissionen gehen derzeit auf Stromanwendungen zurück. In Abb. 2 ist zudem die Verteilung auf die einzelnen Verbrauchssektoren dargestellt.

Tabelle 3: CO₂-Emissionen nach Anwendungssektoren [Tonnen CO₂]

Anwendungssektoren	CO ₂ -Emissionen 2017
	[Tonnen CO ₂]
Wärme	888.734
Strom (ohne Verkehr)	849.331
Verkehr	674.266
Gesamt	2.412.331

Tabelle 4: CO₂-Emissionen nach Verbrauchssektoren [Tonnen CO₂]

Verbrauchssektoren	CO ₂ -Emissionen 2017	
	[Tonnen CO ₂]	%
Private Haushalte	548.522	22,7
Industrie	546.824	22,7
GHD	593.283	24,6
Verkehr	674.266	28
Stadt	49.436	2
Gesamt	2.412.331	100

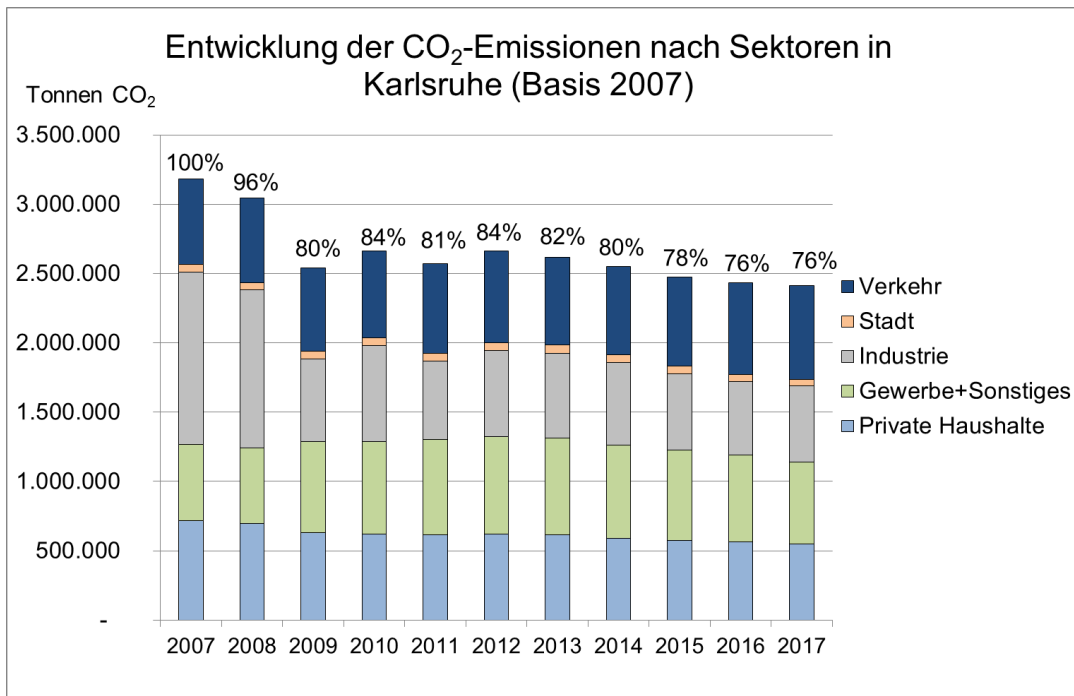


Abbildung 2: CO₂-Emissionen nach Verbrauchssektoren (Quelle:ifeu)

3 Potenziale

Zur Abschätzung der Möglichkeiten, die die Stadt Karlsruhe beim Klimaschutz hat, werden einerseits die Potenziale zur Einsparung von Energie, andererseits zur Energieerzeugung aus regenerativen Quellen ermittelt. Es werden unter Berücksichtigung der aktuellen Technik sowie des Zeitrahmens von 15 Jahren Potenziale für das Jahr 2030 berechnet. Wo sinnvoll wurden wirtschaftliche Gesichtspunkte und gesetzliche Rahmenbedingungen mitberücksichtigt. Im weiteren Verlauf werden diese erschließbaren Potenziale 2030 genannt, sie sind als zu erreichender Erzeugungswert zu sehen und beinhalten die bis dato erschlossene Kapazitäten. Zusätzlich sind technische Potenziale ausgewiesen, die das nach heutigem Stand der Technik maximal mögliche Erzeugungs- und Einsparpotenzial darstellen.

Für die Potenzialberechnungen wurden verschiedene Quellen herangezogen. Wo möglich, werden die im Rahmen früherer Studien^{1,2,3} erhobenen Werte verwendet.

Anhand der verfügbaren Potenziale können, die für einen erfolgreichen Klimaschutz in Karlsruhe wichtigen Handlungsfelder und Stellhebel identifiziert werden. Zur Entwicklung von spezifischen Strategien und für die konkrete Maßnahmenumsetzung sind im nächsten Schritt oftmals genauere raumbezogene Analysen, wie im Energieleitplan vorgesehen, notwendig.

3.1 Einsparung Strom

In Tabelle 5 finden sich die Stromeinsparpotenziale für die Sektoren Private Haushalte, Industrie und GHD. Diese belaufen sich auf insgesamt 261 GWh Endenergie pro Jahr und bergen eine mögliche Vermeidung von jährlich 159.000 Tonnen CO₂. Der Verkehrssektor ist hier außen vorgelassen und wird in Kapitel 3.7. separat betrachtet.

Das Reduktionspotenzial der **Privaten Haushalte** ergibt sich zum einen durch eine Umstellung auf effizientere Technologien. Ein noch größeres Potenzial liegt jedoch in einer Änderung des Nutzerverhaltens hinsichtlich Geräteausstattung und -gebrauch (Suffizienz). Hierauf sind zwei Drittel des unten dargestellten Potenzials zurückzuführen⁴.

Im **Industrie**-Sektor war die Datengrundlage nicht ausreichend, um in diesem Rahmen die Einsparpotenziale branchenspezifisch zu berechnen. Es wurden deshalb die prozentualen Einsparpotenziale aus dem Klimaschutzszenario 2050 der Bundesregierung übernommen⁵.

Die verschiedenen Anwendungen im Sektor **Gewerbe, Handel und Dienstleistungen** unterscheiden sich teilweise deutlich in ihren Reduktionsmöglichkeiten. Die Einsparpotenziale dieses Sektors werden deshalb aufgeschlüsselt nach Anwendung berechnet^{6,7}.

¹ Lewald et al (2012); Potenziale Erneuerbarer Energien in Karlsruhe

² Stadt Karlsruhe (2009). Klimaschutzkonzept Karlsruhe

³ KEK et al (2011), Machbarkeitsstudie klimaneutrales Karlsruhe 2050

⁴ IFEU (2015), Stromeinspareffekte durch Energieeffizienz und Energiesuffizienz im Haushalt

⁵ Öko-Institut/Fraunhofer ISI, Klimaschutzszenario 2050

⁶ Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München (IfE) (2017): Erstellen der Anwendungsbilanzen 2013 bis 2016 für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

⁷ Solar-Institut Jülich der FH Aachen (2016): Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung

Tabelle 5: Einsparpotenziale Strom nach Verbrauchssektoren

Einsparung Strom	erschließbar bis 2030		technisches Potenzial	
	Einsparung [GWh/a]	CO ₂ -Vermeidung [1.000 Tonnen CO ₂ /a]	Einsparung [GWh/a]	CO ₂ -Vermeidung [1.000 Tonnen CO ₂ /a]
Private Haushalte	94	57	281	172
Industrie	42	26	83	51
GHD	125	76	249	153
Gesamt	261	159	613	376

Absolut betrachtet liegt das größte Stromeinsparpotenzial im Sektor GHD. Hier schlummern oft größere, unerkannte und ungenutzte Einsparpotenziale. Im Gegensatz zur Industrie, wo aufgrund der hohen Energieverbräuche und der damit verbundenen Kosten, Einsparungen oft gut bekannt sind und meist konsequenter umgesetzt werden.

Bezogen auf den Verbrauch des jeweiligen Sektors liegen die Einsparmöglichkeiten bei den privaten Haushalten mit 25% am höchsten. Aufgrund der großen Bedeutung der Suffizienz sind hier besonders Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung zielführend.

3.2 Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien

Tabelle 5 zeigt die Stromerzeugungspotenziale auf dem Stadtgebiet von Karlsruhe. Insgesamt könnten bis zum Jahr 2030 Erzeugungspotenziale von 133 GWh erschlossen werden, was jährlich 73.000 Tonnen CO₂ vermeiden würde.

Photovoltaik Dachflächen: Als erschließbares Potenzial wird, in Anlehnung an den zum Erreichen der Klimaschutzziele notwendigen Photovoltaik-Ausbau in Baden-Württemberg⁸ eine Verdreifachung der Solarstromerzeugung auf den Dächern Karlsruhes angenommen. Da der Ausgangswert in Karlsruhe relativ gering ist, die potenziell verfügbare Dachfläche jedoch verhältnismäßig hoch, liegt diese Ausbaurate höher als das Land Baden-Württemberg⁸ mit einer Verdopplung angenommen hat. Das technische Potenzial wurde im Rahmen des Projekts SunArea anhand von Laserscannerdaten ermittelt. Drei Viertel der geeigneten Dachflächen wurden der Photovoltaik angerechnet, ein Viertel der Solarthermie.

Photovoltaik-Freiflächen: Die solaren Freiflächenpotenziale in Karlsruhe basieren auf dem Energieatlas des LUBW⁹. In diesem sind Seitenrandstreifen und Konversionsflächen, also die Flächen, die theoretisch für Photovoltaiknutzung nach EEG geeignet sind, dargestellt. Für das technische Potenzial der Stadt Karlsruhe werden nur die Flächen, die nicht in einem Restriktionsgebiet liegen, in Betracht gezogen. Zwei Drittel dieser Flächen werden der Photovoltaik angerechnet, ein Drittel der solarthermischen Wärmeerzeugung. Es wird davon ausgegangen, dass bis 2030 knapp ein Viertel des technischen Potenzials erschlossen werden kann.

Wind: Die einzige Fläche für Nutzung von Windenergie in Karlsruhe liegt auf dem Energieberg. Dort wurden die beiden kleineren der drei vorhandenen Anlagen 2018 durch eine neue 2 MW-Anlage ersetzt, die aber aus energiewirtschaftlichen Gründen auf 1,5 MW gedrosselt ist. Abgesehen von dieser Bestandsfläche sind im Stadtgebiet Karlsruhe keine weiteren Konzentrationsflächen für die Nutzung von Windenergie im gültigen Teil-Flächennutzungsplan Windenergie ausgewiesen, weshalb derzeit kein Potenzial für den Bau zusätzlicher Windkraftanlagen vorhanden ist. Lediglich über ein Repowering der bestehenden Anlagen können in Zukunft ggf. weitere Energiepotenziale erschlossen werden.

⁸ IFEU et al (2017): Energie- und Klimaschutzziele 2030, im Auftrag des Landes Baden-Württemberg

⁹ <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/projekte/g/bPFnZ> (zuletzt abgerufen am 26.11.2018)

Tiefengeothermie: Karlsruhe liegt in einem geothermischen Gunstraum mit guten bis sehr guten geologischen Bedingungen. Das hier dargestellte tiefengeothermische Potenzial wurden der Studie „Potenziale Erneuerbarer Energien in Karlsruhe“ von 2012 des EIFER Instituts entnommen und sind als Orientierungswert zu verstehen. Es ist davon auszugehen, dass die Potenziale deutlich höher liegen. Damit könnte die Tiefengeothermie perspektivisch ein wesentlicher Baustein in der klimafreundlichen Energieversorgung Karlsruhes sein – insbesondere der Wärmebereitstellung über Fernwärme. Um dieses Potenzial genauer identifizieren und quantifizieren zu können, sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

Detailliertere Berechnungsgrundlagen und Annahmen zu den einzelnen Energieträgern befinden sich im Anhang.

Tabelle 6: EE-Potenziale Strom

EE-Erzeugung Strom	Stand 2015	erschließbar bis 2030		technisches Potenzial	
	Erzeugung [GWh/a]	Erzeugung [GWh/a]	CO2-Vermeidung [1.000 Tonnen CO2/a]	Erzeugung [GWh/a]	CO2-Vermeidung [1.000 Tonnen CO2/a]
Photovoltaik Dachflächen	27	81	45	795	442
Photovoltaik Freiflächen	0,4	8	5	33	18
Wind	3	4	3	9	6
Tiefen- geothermie	-	40	20	80	40
Gesamt	30,4	133	73	917	506

3.3 Überblick Potenziale Strom

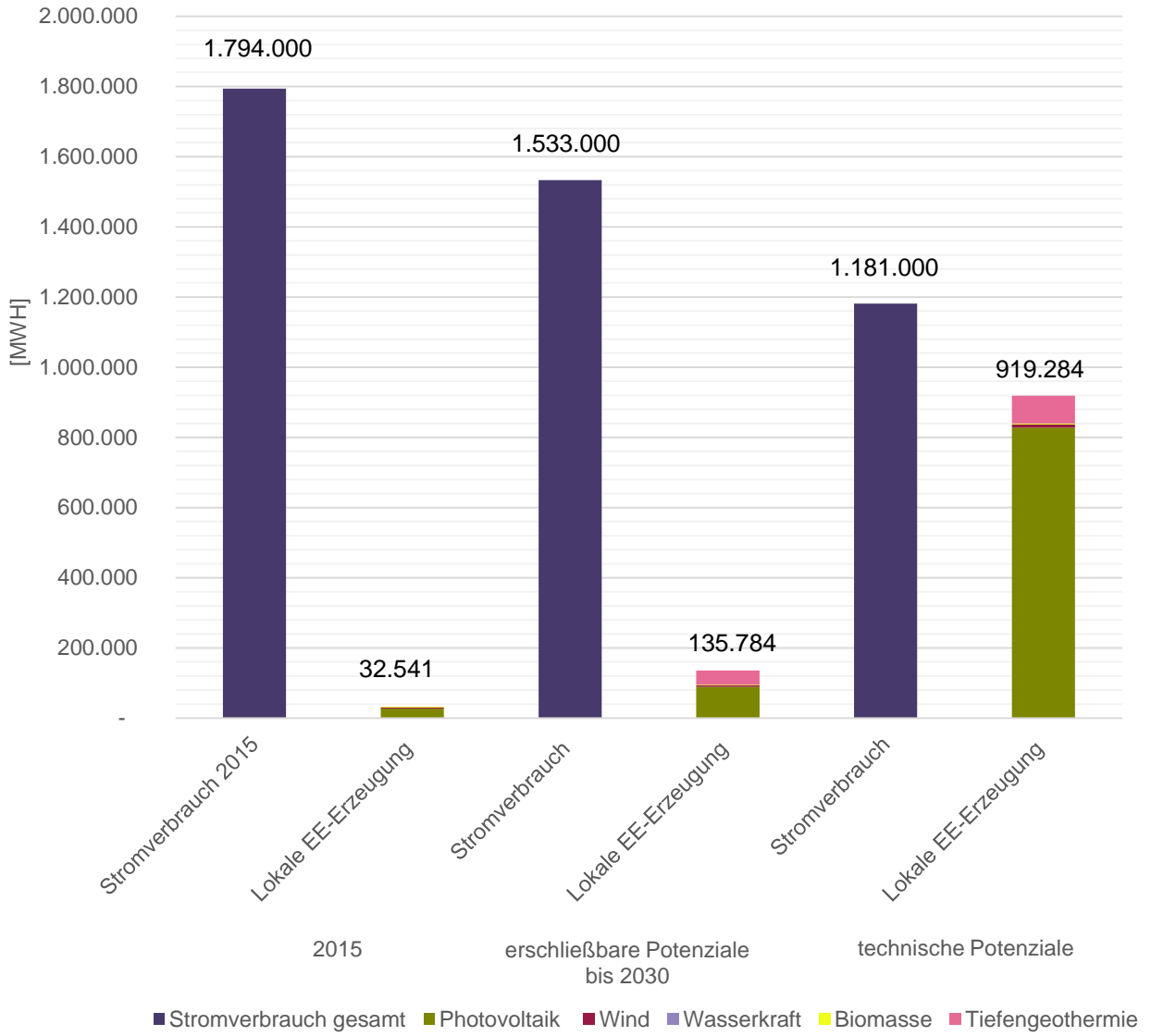


Abbildung 3: Darstellung Potenziale Strom nach Erneuerbaren Energieträgern unterteilt

3.4 Einsparung Wärme

Das größte Energieeinsparpotenzial der Stadt Karlsruhe liegt bei der Wärme. Bis zum Jahr 2030 kann der jährliche Endenergiebedarf um 1.055 GWh reduziert und damit 232.000 Tonnen CO₂ pro Jahr vermieden werden. Die Ermittlung der Einsparpotenziale im Bereich Wärme erfolgt für jeden Sektor separat auf Basis unterschiedlicher Herangehensweisen. Die mögliche Einsparung durch Sanierungsmaßnahmen bei den **privaten Haushalten** wird anhand der Gebäudetypologie Karlsruhes ermittelt^{10,11,12}. Bis zum Jahr 2030 wird mit einer durchschnittlichen Sanierungsrate von 2,1%¹³ gerechnet. Gebäude Zu- und Abgänge werden ebenfalls berücksichtigt.

Analog zum Strom konnten im **Industrie-Sektor** keine branchenspezifischen Werte ermittelt werden, weshalb behelfsweise auf Kennwerte aus dem Klimaschutzszenario der Bundesregierung zurückgegriffen wurde.

Die Einsparpotenziale an Wärme im **Sektor GHD** werden analog zum Strom anhand von Kennwerten für die verschiedenen Anwendungen berechnet.^{6,7}

Tabelle 7: Einsparpotenziale Wärme nach Verbrauchssektoren

Einsparung Wärme	erschließbar bis 2030		Technisches Potenzial	
	Einsparung [GWh/a]	CO ₂ -Vermeidung [1.000 Tonnen CO ₂ /a]	Einsparung [GWh/a]	CO ₂ -Vermeidung [1.000 Tonnen CO ₂ /a]
Private Haushalte	446	98	1.067	235
Industrie	353	78	675	149
GHD	256	56	511	112
Gesamt	1.055	232	2.253	496

Das größte Potenzial liegt bei den privaten Haushalten und ist auf das enorme Einsparpotenzial durch energetische Sanierungen zurückzuführen. Auch beim Sektor GHD liegen 95% des Einsparpotenzials bei der Raumwärme. Über alle Sektoren betrachtet können zwei Drittel der möglichen Wärmeeinsparungen durch energetische Gebäudesanierungen erzielt werden.

¹⁰ Zensus (2011)

¹¹ Diefenbach (2013): Wohnflächen und Häufigkeiten im deutschen Wohngebäudebestand / Basis-Typen / Baujahr bis 2009, Stand: Mai 2011

¹² IWU (2015) Deutsche Wohngebäudetypologie Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden

¹³ Climate Change 26/2017; Klimaneutraler Gebäudebestand

3.5 Wärmeezeugung aus Erneuerbaren Energien

Das bis 2030 erschließbare Potenzial bei der erneuerbaren Wärmeezeugung liegt bei 221 GWh pro Jahr, wodurch 30.200 Tonnen CO₂ eingespart würden. Das technische Potenzial beläuft sich auf 1.746 GWh pro Jahr, dies entspräche einer CO₂ Minderung von 415.500 Tonnen.

Die Potenziale der Wärmeezeugung werden unterteilt in netzunabhängige und netzgeeignete Energieträger dargestellt, da die Frage, ob ein Energieträger in einem Wärmenetz nutzbar ist oder nicht, sehr unterschiedliche Herangehensweisen und Strategien zur Erschließung notwendig macht.

Die Erschließung der netzunabhängigen Wärmeenergieträger ist durch die Kommune nur indirekt beeinflussbar, sondern vor allem abhängig von individuellen Entscheidungen der Hausbesitzer. Inwieweit die vorhandenen Möglichkeiten bei den netzgeeigneten Erneuerbaren Energien erschlossen werden, hängt weniger am einzelnen Wärmeabnehmer, sondern kann durch strategische Entscheidungen der Stadt, bzw. der Stadtwerke direkt beeinflusst werden.

Wärmepumpen: Die Nutzung von Luft-, Erd- oder Grundwasser-Wärmepumpen ist theoretisch für fast jedes Gebäude möglich und damit nahezu unbegrenzt einsetzbar. Deshalb kann kein absolutes Gesamtpotenzial ausgewiesen werden. Im Zuge der zunehmenden Verlagerung des Energiesystems auf Strom als Leitenergie kommen den Wärmepumpen künftig eine hohe Bedeutung zu; insbesondere in Gebieten außerhalb der Fernwärme- und Gasnetze.

Für das erschließbare **solarthermische Potenzial auf Dachflächen** wurde in Anlehnung an das Zielszenario zur Erreichung der Klimaschutzziele des Landes Baden-Württemberg¹⁴ eine Zunahme der Kollektorfläche von 2015 um 170% bis 2030 angenommen. Das technische Potenzial entstammt Laserscanneranalysen aus dem Projekt SunArea. Es wird angesetzt, dass ein Viertel der als geeignet identifizierten Flächen solarthermisch genutzt werden kann.

Das solarthermische Freiflächenpotenzial wird, wie das Potenzial der Photovoltaik-Freiflächen auf Basis des Energieatlasses des LUBW⁹ berechnet. Ein Drittel der in diesem Rahmen identifizierten Flächen, die nicht in Restriktionsgebieten liegen, wird als technisches solarthermisches Potenzial angesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass bis 2030 auf einem Viertel dieser Flächen Solarthermieanlagen installiert werden können. Die Erstellung einer räumlichen an tatsächliche Wärmebedarfe angepasste Potenzialanalyse wird dringend empfohlen.

Das Biomassepotenzial wird auf Basis der Stoffströme berechnet, die im Einflussbereich der Stadt liegen. Da die gesamten Bioabfallmengen der Stadt Karlsruhe außerhalb des Stadtgebietes zur Vergärung vergeben und vertraglich gebunden sind, werden sie in den erschließbaren Potenzialen bis 2030 nicht berücksichtigt. Dieses beschränkt sich auf die thermisch nutzbaren Fraktionen des Grünguts. Im technischen Potenzial werden zusätzlich die vergärbaren Anteile des Grünguts, von Mist und Gülle des Zoos sowie der Bioabfallmengen berücksichtigt. Daraus ergibt sich ein gesamtes technisches Potenzial von 58 GWh. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit der Biomasse ist die Carbonisierung: hierbei wird bei Temperaturen um die 200°C und erhöhtem Druck Biokohle (HTC-Kohle) erzeugt. Diese hat Braunkohle-ähnliche Eigenschaften und kann somit als Energieträger aber auch zur Bodenverbesserung eingesetzt werden. Das energetische Potenzial dieser Technologie liegt nach einer groben Abschätzung bei gut 20 GWh.

Das Potenzial an **zusätzlicher Abwärme** entstammt Untersuchungen der Firma IREES im Rahmen des DACH-Projekts.

Die Vorgehensweise bei der Erhebung des Tiefengeothermiepotenzials ist in Kapitel 2.2 „Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien“ beschrieben. Das EE-Potenzial der Tiefengeothermie für den Bereich Wärme wurde hier in Abstimmung mit der Projektgruppe bis 2030 mit 0 GWh/a Erzeugung und damit auch mit 0 t CO₂/a angesetzt.

Grund dafür ist die Tatsache, dass nach Information durch die Stadtwerke derzeit die durch Raffinerieprozesse entstandene Abwärme der MiRo (Mineralölraffinerie Oberrhein mit Standort in

¹⁴ ZSW et al (2017), Energie- und Klimaschutzziele 2030

Karlsruhe) genutzt wird. Nach Information der Stadtwerke Karlsruhe findet dadurch eine fast vollständige Deckung des Wärmebedarfs statt.

Als technisch erschließbares EE-Potenzial Wärme (d.h. das technische Potenzial, das das nach heutigem Stand der Technik maximal mögliche Erzeugungs- und Einsparpotenzial darstellt aufgrund der in Karlsruhe vorliegenden Rahmenbedingungen [siehe auch Kapitel. 2.2]) sind 640 GWh/a Erzeugung und damit die Vermeidung von 189.000 t CO₂/a angesetzt (siehe nachfolgende Tabelle 8).

Tabelle 8: EE-Potenziale Wärme 2030

EE-Potenzial Wärme	Stand 2015	erschließbar bis 2030		Technisches Potenzial	
	Erzeugung [GWh/a]	Erzeugung [GWh/a]	CO ₂ -Vermeidung [1.000 Tonnen CO ₂ /a]	Erzeugung [GWh/a]	CO ₂ -Vermeidung [1.000 Tonnen CO ₂ /a]
Netzunabhängig					
Wärmepumpen	13	147	14	307	29
Solarthermie	6	13	3	656	164
Netzgeeignet					
Solarthermie für Nahwärme		8	2	34	8
Biomasse	24	40	8	58	14
Zusätzliche Abwärmepotenziale		13	3	51	11
Tiefengeothermie	0	0	0	640	189
Gesamt	43	221	30	1.746	415

Die Wärmepumpen bieten das größte Potenzial unter den netzunabhängigen Energieträgern. Über Kampagnen, Contractingmodelle oder Förderprogramme kann die Stadt bei der Erschließung dieses wichtigen Potenzials unterstützend wirken.

Bei den netzgeeigneten Energieträgern liegt das größte langfristige Potenzial bei der Tiefengeothermie. Um dieses Potenzial nutzbar machen zu können, sind weitergehende Untersuchungen notwendig.

3.6 Überblick Potenziale Wärme

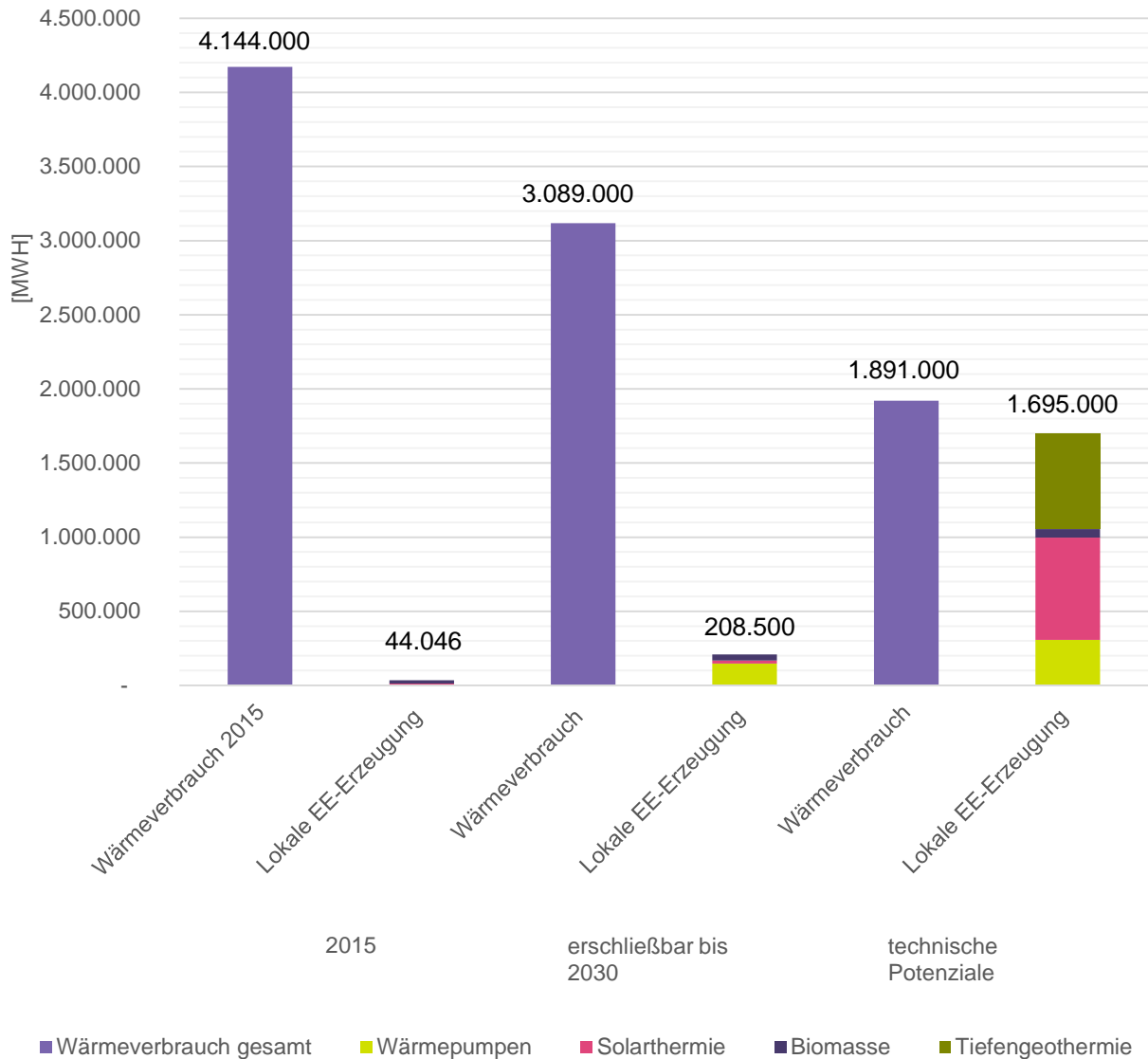


Abbildung 4: Darstellung Potenziale Wärme nach Erneuerbaren Energieträgern unterteilt (betrachtet wurden an dieser Stelle ausschließlich Geothermie, Solarthermie und feste Brennstoffe, die Ausgangswerte aus dem Jahr 2015 sind der Energie- und CO₂ Bilanz des Ifeu-Instituts entnommen)

3.7 Potenziale im Verkehrsbereich

Die verkehrspolitischen Ziele des Landes Baden-Württemberg sind im Rahmen eines Klimaschutzszenarios für die Verkehrsinfrastruktur 2030 im Jahre 2017 dargestellt worden. Danach ist es das Bestreben der Landesregierung, die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor bis 2030 (Bezugsjahr 1990) um 40% zu reduzieren. Auch der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung hat als Sektorziel für den Verkehr minus 40% für das Jahr 2030 gegenüber 1990 festgelegt.

In einer wissenschaftlichen Begleitstudie des Klimaschutzszenarios der Universität Stuttgart* aus dem Jahre 2017 ergeben sich daraus folgende Schlussfolgerungen für Maßnahmen:

- Ausbau der Schieneninfrastruktur zur Aufnahme zusätzlicher Fahrten (Schienenpersonennahverkehr) SPNV und Güterverkehr
- Ausbau der Fernbusterminals als intermodale Knotenpunkte
- Ausbau Radwegenetze und -infrastruktur

- Maßnahmen zur Gestaltung des innerstädtischen Straßenverkehrs (z.B. bauliche Veränderungen, Beschilderung, Steuerung von Lichtsignalanlagen, Anpassung Straßenverkehrsordnung)
- Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität
- Maßnahmen zur Verbesserung des Verkehrsangebotes im ÖPNV (z.B. räumliche Verfügbarkeit, Zeitaufwand, Beförderungskomfort, Übersichtlichkeit)
- Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrsinformation (z.B. digitale Mobilitätsplattform, Radwegebeschilderung, Öffentlichkeitsarbeit, ordnungspolitische Maßnahmen)
- Monetäre Maßnahmen (Preisgestaltung und Ticketing, Preisgestaltung PKW und Güterverkehr)

Eine genaue Untersuchung der Minderungspotenziale im Verkehrsbereich in Karlsruhe ist nicht Gegenstand des neuen Klimaschutzkonzepts, u.a. weil dieser Bereich im Verkehrsentwicklungsplan für die Stadt Karlsruhe ausführlicher analysiert wurde. Die dort dargelegten CO₂-Einsparpotenziale wurden jedoch nicht übernommen, weil die hinterlegten Annahmen teilweise als nicht mehr aktuell betrachtet werden. Beispielsweise wurde bezüglich für die Elektromobilität eine „nur sehr gedämpften Marktdurchdringung“¹⁵ angenommen, was aus heutiger Sicht als unwahrscheinlich gilt.

Die zugrunde gelegten Einsparpotenziale basieren deshalb auf der Studie „Mobiles Baden-Württemberg“ der Baden-Württemberg Stiftung¹⁶, in der einerseits von einer Einsparung an Endenergie von 43% bis zum Jahr 2030 sowie 80% bis zum Jahr 2050 und andererseits von einer stark ansteigenden Bedeutung vom Strom ausgegangen wird (10% der Endenergieverbräuche des Verkehrssektors bis 2030 sowie 100% bis 2050).

Tabelle 9: Erschließbare Einsparpotenziale Verkehr 2030

Stand 2015	erschließbar bis 2030		Technisches Potenzial	
	Einsparung [GWh/a]	CO ₂ -Vermeidung [1.000 Tonnen CO ₂ /a]	Einsparung [GWh/a]	CO ₂ -Vermeidung [1.000 Tonnen CO ₂ /a]
2.113	917	220	1.706	406

¹⁵ VEP Karlsruhe (2013), Umweltbericht

* Entwicklung von Instrumenten und Maßnahmen - Nachhaltige Mobilität in Baden-Württemberg: Wissenschaftliche Begleitung eines Klimaschutz-Szenarios im Verkehr; Universität Stuttgart, Institut für Strassen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, PTV Consult GmbH; Auftraggeber: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg; 30.9.2017

¹⁶ Abschlussbericht der Studie Mobiles Baden Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität (2018), Herausgegeben von der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

4 Szenarien

Für das neue Klimaschutzkonzept der Stadt Karlsruhe wurden drei Szenarien erstellt. Die **Szenarien Trend 2030 und Karlsruhe Klimaaktiv 2030** stellen dabei eine **jeweils mögliche Entwicklung bis 2030** dar und dienen als Orientierung, welche CO₂ - Minderung bei einem ambitionierten Vorgehen bis zum Jahr 2030 erreicht werden kann bzw. wie sich ein „weiter wie bisher“ auswirken würde. Das **Maximalszenario für die Stadt Karlsruhe (Szenario Karlsruhe Klimaneutral 2050)** zeigt auf, welche Reduktionen an Endenergie und CO₂ **bis 2050** gegenüber dem Bezugsjahr 2015 möglich wären, wenn alle stadt eigenen technischen Potenziale ausgeschöpft würden.

Folgende Grundannahmen stehen hinter den Szenarien:

- Das Ausgangsjahr 2015 sowie die Bilanzierungsprinzipien wurde aus der ifeu-Bilanz übernommen.
- Bevölkerungsentwicklung: Stadt Karlsruhe 2017¹⁶
- Beschäftigtenprognosen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg¹⁸
- Zu den Ausbaupotenzialen der Fernwärme, sowie den Entwicklungen des Gasnetzes wurden Gespräche mit den Stadtwerken geführt

Emissionsfaktoren:

- Werden aus dem Jahr 2015 eingefroren
- mit folgender Ausnahme: Entwicklung Bundesstrommix auf Basis Ökoinstitut

Entwicklung bei Erdgas und Fernwärme auf Basis von Gesprächen mit den Stadtwerken

4.1 Szenario Trend 2030 („weiter wie bisher“)

- Fortschreibung der bisherigen Entwicklungen: „weiter wie bisher“
- Keine Berücksichtigung von möglichen gesetzlichen Rahmenbedingungen oder technischen Innovationen

Annahmen Szenario Trend 2030:

- Private Haushalte: Energieträger werden auf Basis von prozentualer Verbrauchsentwicklung pro Kopf zwischen 2009 und 2015 fortgeschrieben.
- GHD: Energieträger werden auf Basis von prozentualer Verbrauchsentwicklung pro Beschäftigten zw. 2009 und 2015 fortgeschrieben.
- Industrie: Entwicklung auf Basis AGE¹⁹ (2011 bis 2050)
- Verkehr: Fortschreibung der bisherigen Entwicklung

Ergebnisse:

Würden sich die Energieverbräuche der einzelnen Energieträger in Karlsruhe weiter wie bisher entwickeln, steigt der Endenergieverbrauch bezogen auf das Jahr 2015 bis 2030 um 10%, die CO₂-Emissionen würden um 4% sinken.

¹⁷ Stadt Karlsruhe (2016): Kleinräumige Bevölkerungsprognose 2035

¹⁸ Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

¹⁹ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

Tabelle 10: Ergebnis Szenario Trend 2030

	2015	2030
Endenergieverbrauch gesamt [GWh]	8.086	9.016
CO ₂ -Emissionen gesamt [Tonnen CO ₂]	2.472.280	2.358.166
CO ₂ -Emissionen pro Kopf [t CO ₂ /EW]	7,9	7

4.2 Szenario Karlsruhe Klimaaktiv 2030

- Ein ambitionierter Weg im Klimaschutz für Karlsruhe
- Keine exakte Prognose oder Modellierung des Energiesystems
- Basierend auf den erschließbaren Potenzialen bis 2030
- Ein ambitioniertes Handeln auf Bundesebene wird vorausgesetzt.

Annahmen Szenario Karlsruhe Klimaaktiv 2030:

- Die erschließbaren Einspar- und Erzeugungspotenziale werden bis 2030 ausgeschöpft.
- Netzlösungen bekommen eine Schlüsselrolle (Fern- und Nahwärme).
- Der Verbrauch der fossilen Energieträger Heizöl und Kohle wird deutlich um drei Viertel reduziert.
- Das Gasabsatz wird 2030 zu mindestens 50% aus synthetischen Gasen bzw. Biogas gedeckt.

Ergebnisse:

Im Szenario Karlsruhe Klimaaktiv 2030, welches die Reduktionspotenziale bei Ausschöpfung der bei einem ambitionierten Vorgehen erschließbaren Potenziale aufzeigt, könnten die Endenergieverbräuche bezogen auf 2015 bis zum Jahr 2030 um 23% reduziert werden, die CO₂-Emissionen um 55%.

Tabelle 11: Ergebnis Szenario Karlsruhe Klimaaktiv 2030

	2015	2030
Endenergieverbrauch gesamt [GWh]	8.086	6.200
CO ₂ -Emissionen gesamt [Tonnen CO ₂]	2.472.280	1.097.126
CO ₂ -Emissionen pro Kopf [t CO ₂ /EW]	7,9	3,3

4.3 Szenario Karlsruhe Klimaneutral 2050

- Basierend auf den stadteigenen technischen Potenzialen
- Ein ambitioniertes Handeln auf Bundesebene ist hierfür Grundvoraussetzung.
- Der Zeithorizont 2050 birgt große Unsicherheiten.

Annahmen Szenario Karlsruhe Klimaneutral 2050

- Die technischen Einspar- und Erzeugungspotenziale werden bis 2050 vollständig ausgeschöpft.
- Netzlösungen haben weiterhin eine zentrale Bedeutung und werden 2050 zu 100% Erneuerbaren Energieträgern gespeist.

- Der verbleibende Gasabsatz wird zu 100% aus synthetischen Gasen und Biogas gedeckt
- Die Energieträger Heizöl und Kohle spielen im Jahr 2050 keine Rolle mehr

Ergebnisse:

Das Szenario Karlsruhe Klimaneutral 2050 für die Stadt Karlsruhe zeigt auf, welche Reduktionen an Endenergie und CO₂ bis 2050 gegenüber dem Bezugsjahr 2015 möglich wären, wenn alle stadteigenen technischen Potenziale ausgeschöpft würden.

Bei der Endenergie könnte eine Einsparung von 54% erreicht werden, bei den CO₂-Emissionen könnte die Stadt Einsparungen von 98% erreichen. Obwohl im Szenario Karlsruhe Klimaneutral 2050 die gesamte Energieversorgung aus Erneuerbaren Energien bereitgestellt wird, bleiben aufgrund der Vorkette (siehe Infokasten Kap.3.2) Restemissionen von rd. 53.000 Tonnen CO₂, oder 0,2 Tonnen pro Einwohner und Jahr.

4.4 Szenarienvergleich Endenergie

An dieser Stelle werden die Endenergieverbräuche der drei berechneten Szenarien tabellarisch und graphisch gegenübergestellt:

Tablelle 12: Szenarienvergleich Endenergie nach Energieträger

	2015	Trend 2030	Karlsruhe Klimaaktiv 2030	Karlsruhe Klimaneutral 2050
	[GWh]			
Erdgas	1.521	1.607	1293	513
Wärmenetze	817	941	1100	1.100
Heizöl	635	632	210	0
Dezentrale EE*	44	57	324	429
Nachtspeicherheizung	30	29	0	0
Sonstiges	988	848	324	0
Kohle	138	126	46	0
Strom	1.764	1.967	1.684	1.242
Kraftstoffe	2.113	2.782	1.102	0
Strom Verkehr	35	27	122	430
Endenergieverbrauch gesamt	8.086	9.016	6.205	3.713
Einsparung in % geg. 2015		-10	23	54

* Solarthermie Dach, Wärmepumpen und Biomasse dezentral

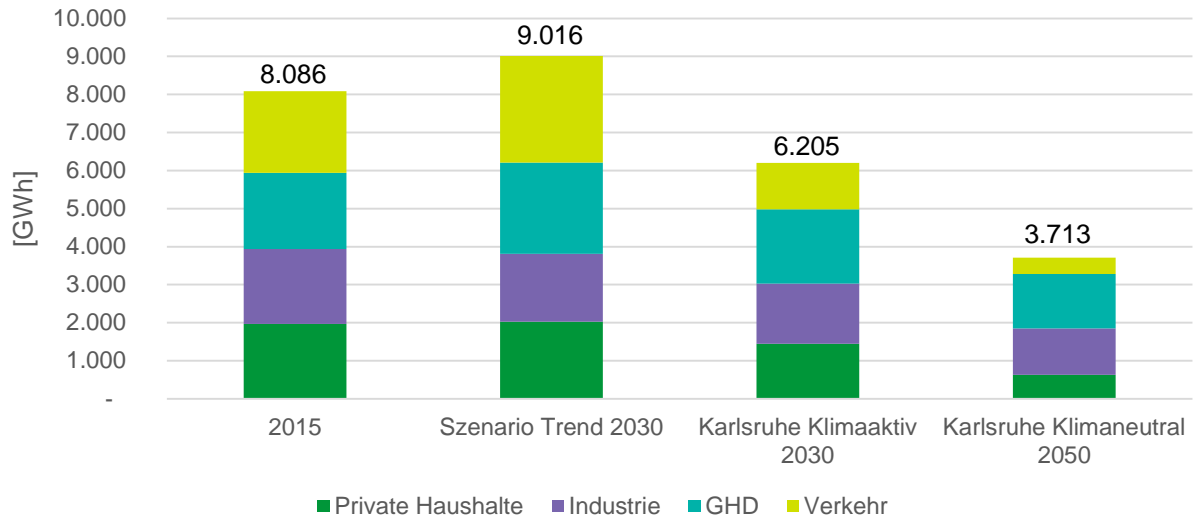


Abbildung 5: Szenarienvergleich nach Verbrauchssektoren [GWh]

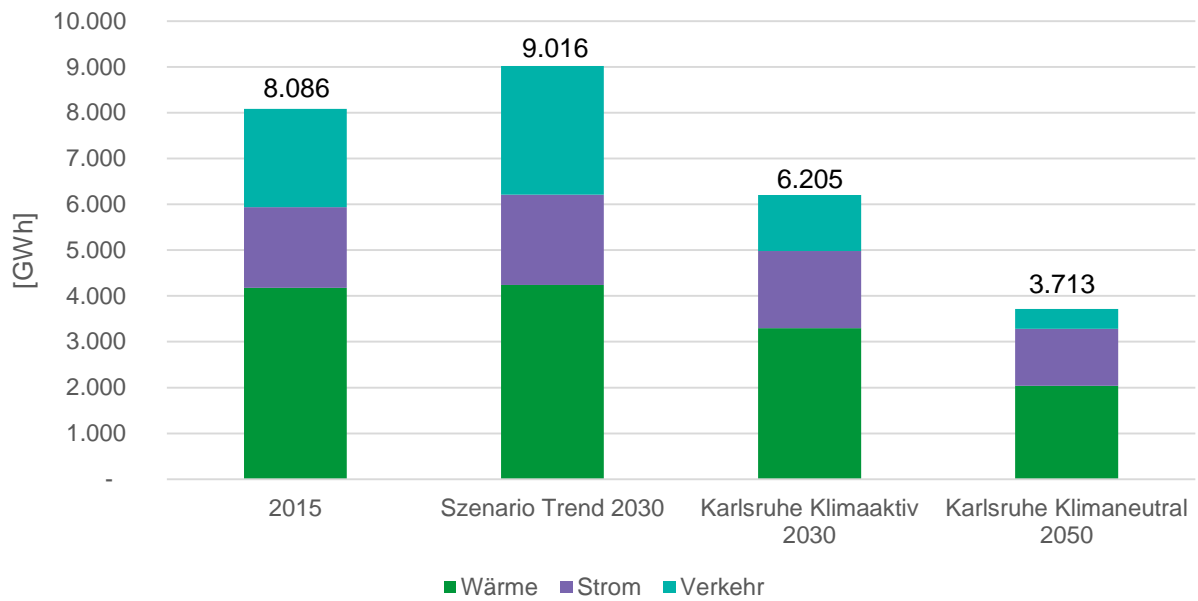


Abbildung 6: Szenarienvergleich nach Anwendungssektoren [GWh]

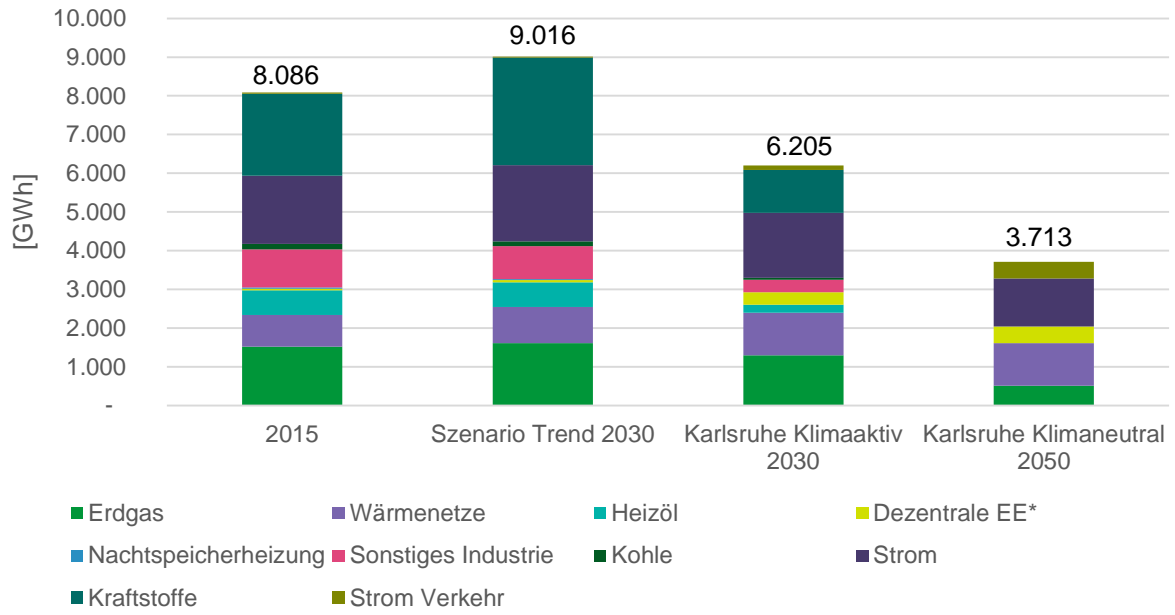


Abbildung 7: Szenarienvergleich nach Energieträgern [GWh]

4.5 Szenarienvergleich CO₂-Emissionen

An dieser Stelle werden die CO₂-Emissionen der drei berechneten Szenarien tabellarisch und graphisch gegenübergestellt.

Tabelle 13: Szenarienvergleich CO₂-Emissionen nach Energieträger

	2015	Trend 2030	Karlsruhe Klimaaktiv 2030	Karlsruhe Klimaneutral 2050
	[Tonnen CO ₂]			
Erdgas	346.868	366.350	126.731	6.663
Wärmenetze	125.897	129.845	125.400	17.600
Heizöl	203.326	202.326	67.051	-
Dezentrale Energieträger*	3.181	2.072	11.746	9.089
Nachtspeicherheizung	16.463	10.147	-	-
Sonstiges	131.623	118.738	45.380	-
Kohle	50.390	46.015	16.629	-
Strom	952.821	680.460	363.730	14.288
Kraftstoffe	622.930	792.870	314.016	-
Strom Verkehr	18.781	9.342	26.443	4.940
Gesamt	2.472.280	2.358.166	1.097.126	52.580
CO₂-Minderung geg. 2015 in %		4	55	98

* Solarthermie Dach, Wärmepumpen und Biomasse dezentral

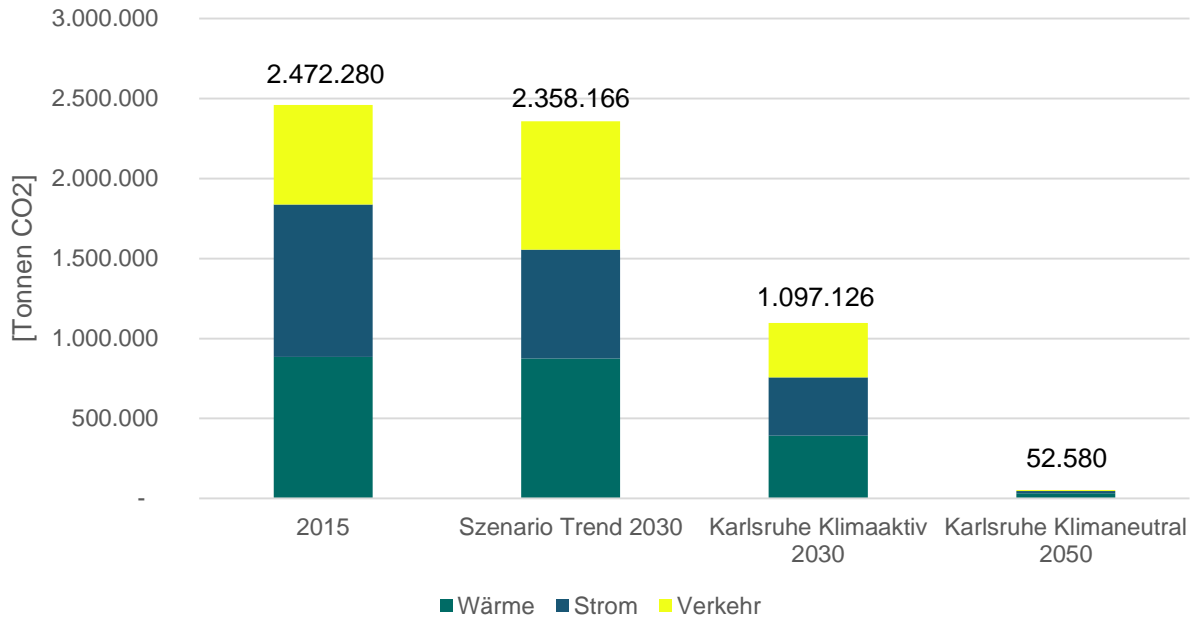


Abbildung 8: Szenarienvergleich nach Anwendungssektoren [Tonnen CO2]

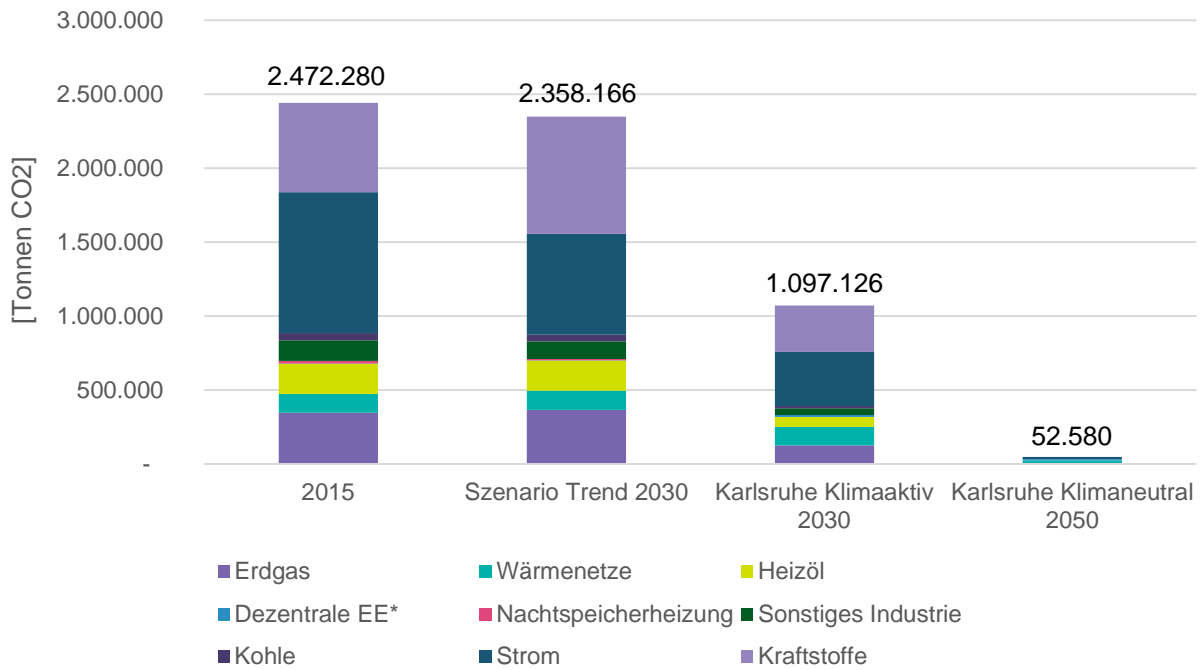


Abbildung 9: Szenarienvergleich nach Energieträgern [Tonnen CO2]

4.6. Ableitung prioritärer Handlungsfelder

Auf Basis der Ergebnisse der Potenzialstudie und des Klima-Szenarios werden an dieser Stelle erste Handlungsfelder identifiziert, die bei der kommenden Maßnahmenentwicklung in den Fokus gerückt werden müssen.

Strom

Im Strombereich ist der **GHD Sektor** der größte Verbraucher. Bis zum Jahr 2030 liegt das erschließbare Potenzial zur Einsparung bei rund 17%, wobei ansteigende Beschäftigtenzahlen (die Prognosen liegen bei 35%) dazu führen, dass die Energieverbräuche im Jahr 2030 absolut gesehen sogar leicht ansteigen. Um einen starken Anstieg des Stromverbrauchs in diesem Sektor zu verhindern ist das konsequente Ausschöpfen der Einsparpotenziale unerlässlich.

Auf der Erzeugungsseite (Strom) bleibt die Stadt Karlsruhe aktuell deutlich hinter vergleichbaren Städten zurück. Im Jahr 2015 kann die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energieträgern bilanziell nur knapp 2% des gesamten Stromverbrauchs decken. Im Vergleich dazu liegt der Anteil in Deutschland im Jahr 2015 bei 31%. Betrachtet man die Potenziale so liegt der größte Hebel der Stadt bei der **Photovoltaik**. Sofern das angenommene Potenzial für das Jahr 2030 ausgeschöpft wird, kann die Stadt Karlsruhe im Jahr 2030 immerhin 5% des zukünftigen Stromverbrauchs (Wert aus dem Szenario Karlsruhe Klimaaktiv 2030) decken. Hierfür muss die Stadt Karlsruhe in den kommenden Jahren konsequent an der Erschließung der Potenziale arbeiten.

Wärme

Im Wärmebereich liegt das größte Potenzial bei der Einsparung. Dieses liegt bei über 1000 GWh bis zum Jahr 2030. Mit einem Zweidrittelanteil handelt es sich zum überwiegenden Teil um Einsparungen bei der Raumwärme. Eine konsequente **Sanierung** ist somit unerlässlich für das Erreichen der Klimaschutzziele.

Betrachtet man im Wärmebereich die Erzeugungsseite, so sind rund 70% der Erneuerbaren Energiepotenziale netzgeeignet. Das größte langfristige Potenzial liegt dabei in der Tiefengeothermie. Mit dem Fernwärmenetz der Stadtwerke ist bereits ein großes Wärmenetz in der Stadt vorhanden, das bedeutende Chancen für eine künftige klimagerechte Energieversorgung bietet. Dem weiteren Ausbau der **netzgebundenen Wärmeversorgung** (Fern- und Nahwärme) kommt für die Stadt Karlsruhe eine Schlüsselfunktion zu.

Innerhalb der netzunabhängigen Wärmebereitstellung liegt das größte Erzeugungspotenzial bei den Wärmepumpen. Die Umstellung von Heizöl auf Erneuerbaren Energien birgt in den netzfernen Gebieten jedoch große Herausforderungen. Aufgrund der langen Lebensdauer von Heizkesseln muss unverzüglich jeder Kesseltausch für die Umstellung auf Erneuerbare Energien genutzt werden. Die stadt eigenen Erneuerbaren Energie-Potenziale zur Versorgung sind in Karlsruhe aber stark limitiert und eine konsequente Sanierung somit unabdingbar. Weitere wichtige Grundlagen für konkrete und quartierspezifische Maßnahmen in der Wärmeversorgung muss der anvisierte Energieleitplan liefern.

Zu beachten ist, dass die im Szenario Karlsruhe Klimaaktiv 2030 zu Grunde gelegten Reduktions- und Ausbaupotenziale keine absoluten Grenzen darstellen! So können durch ambitionierteres Vorgehen der Stadt oder durch eine günstige Entwicklung der technischen und politischen Rahmenbedingungen durchaus größere Erfolge erreicht werden.

5 Anhang

5.1 Methodenteil

5.1.1 Einsparpotenziale

Private Haushalte

Wärme

Um die Energiebedarfe und Einsparungspotenziale nach IWU 2015 berechnen zu können müssen zuerst die Zensus-Daten für Karlsruhe an die IWU-Struktur angepasst werden. Hierfür wurde die Methode nach "Climate Change", Klimaneutraler Gebäudebestand 2050, S. 114 verwendet. Im ersten Schritt werden die Baualtersklassen angepasst, im zweiten die Gebäudetypen.

Um den zukünftigen Wärmebedarfe für das Jahr 2030 zu ermitteln, wurde eine Sanierungsrate von 2,1% angenommen. Im Jahr 2030 ist somit eine Sanierungsquote von 32% erreicht. Zudem wurde ein Karlsruhespezifischer Zubau sowie eine Abgangsrate von 0,3% pro Jahr angenommen.

Strom

Die Einsparpotenziale im Strombereich wurden innerhalb der privaten Haushalte anwendungsspezifisch auf Basis folgender Studie berechnet: IFEU (2015), Stromeinspareffekte durch Energieeffizienz und Energiesuffizienz im Haushalt.

5.1.2 Erzeugungspotenziale

Solarenergie

Dachflächen

Das Potenzial zur Solarstrom und solaren Wärmeerzeugung auf dem Stadtgebiet Karlsruhe wird auf Grundlage der Ergebnisse aus dem Projekt SunArea berechnet. Auf der Grundlage von hochaufgelösten Laserscannerdaten wurde in diesem Projekt eine Standortanalyse und Potenzialberechnung für Solaranlagen durchgeführt. Die Potenzialanalyse bezieht sich dabei auf die Standortfaktoren wie Neigung, Ausrichtung, Verschattung und Globalstrahlungswert. Außerdem wird davon ausgegangen, dass alle Flächen, die für PV-Anlagen geeignet sind, auch für thermische Solaranlagen nutzbar sind. Insgesamt wurde eine Modul-/ Kollektorfläche von rund 7 km² zur solaren Nutzung identifiziert. Aufgrund der deutlich einfacheren Voraussetzungen zur Installation von Photovoltaikanlagen wird die geeignete Dachfläche zu drei Vierteln der Solarstromerzeugung angerechnet und zu einem Viertel der solarthermischen Nutzung. Die technisch möglichen Stromerträge werden dem Ergebnisbericht SunArea entnommen, jedoch werden diese gemäß dem heutigen Stand der Technik auf einen Modulwirkungsgrad von 20% hochgerechnet. Das technische Wärmepotenzial wird über die geeignete Kollektorfläche und einem energetischen Ertrag von 0,39 MWh/m² ermittelt.

Die bis 2030 erschließbaren Potenziale berechnen sich anhand ambitionierter, jedoch realistischer Ausbauraten. Als Grundlage dienen die Zielszenarien zur Erreichung der Energie- und Klimaschutzziele des Landes Baden-Württembergs bis 2030⁸. Demnach wird für die Photovoltaik eine Verdreifachung der im Jahr 2015 über Dachanlagen installierten Leistung angenommen. Diese Rate liegt leicht höher als für das Bundesland, da Karlsruhe mit einem vergleichsweise niedrigen Ausgangswert startet. Für die Solarthermie wird analog zu den Zielszenarien des Landes ein Ausbau auf die 1,8-fache Kollektorfläche angenommen.

Freiflächen

Das Freiflächenpotenzial für eine solare Nutzung wurde anhand der vom LUBW durchgeführten Potenzialerhebungen ermittelt.⁹ In diesem Rahmen wurden Flächen identifiziert, die laut EEG für die Nutzung durch Freiflächen-Photovoltaikanlagen geeignet bzw. bedingt geeignet sind. Dies betrifft Konversionsflächen, Seitenrandstreifen entlang von Autobahnen und Schienenstrecken sowie Acker- und Grünlandflächen innerhalb von benachteiligten Gebieten. Es wird vorausgesetzt, dass ein Teil der Flächen aufgrund ihrer Lage, Größe und Neigung auch für die Installation solarthermischer Kollektoren

für Nahwärme geeignet sind. Da bei einer solarthermischen Nutzung auch die Bedarfsseite mitbedacht werden muss stehen hierfür tendenziell weniger Flächen zur Verfügung. Als technisches Flächenpotenzial deshalb wurden die durch das LUBW identifizierten Flächen zu zwei Dritteln der Photovoltaik und zu einem Drittel der Solarthermie angerechnet. Flächen, die in Restriktionsgebieten liegen, wurden nicht miteinbezogen.

Für die Potenziale bis 2030 wird angenommen, dass bis 2030 jeweils ein Viertel des technischen Potenzials erschlossen werden kann.

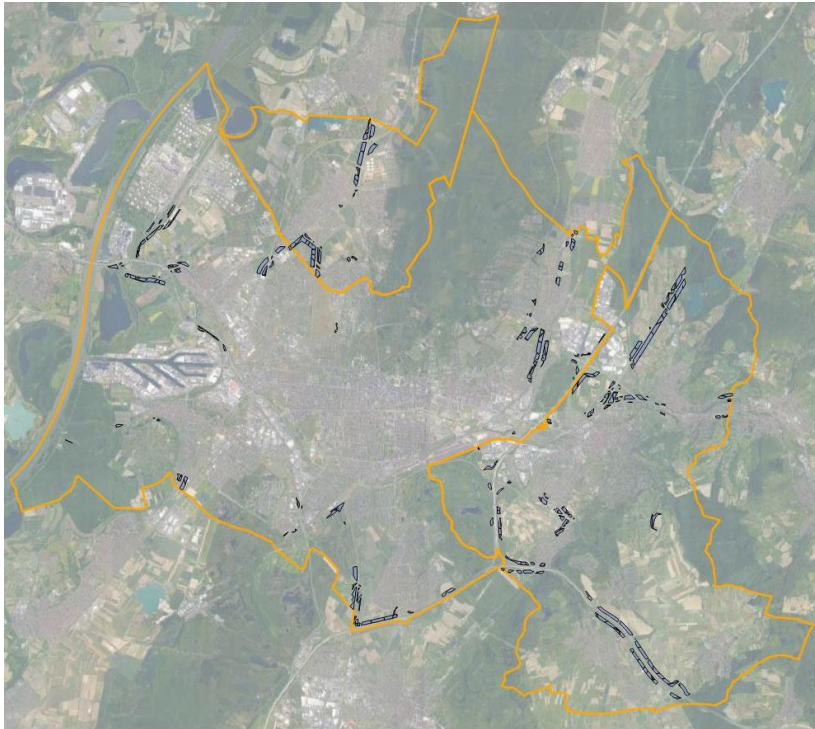


Abbildung 10: Potenzielle solare Freiflächen im Stadtgebiet Karlsruhe (erstellt auf Basis von GIS-Daten der LUBW)

Windenergie

Im Zuge der raumplanerischen und naturschutzfachlichen Prüfung von Flächenpotenzialen für die Fortschreibung des Teil-Flächenplans Windenergie des Nachbarschaftsverbands Karlsruhe (NVK) hat sich gezeigt, dass es in Karlsruher Stadtgebiet aufgrund der Schwere der Restriktionen keine Potenziale für den Bau weiterer Windkraftanlagen über die bestehenden hinaus gibt. Somit können lediglich über Repowering der bestehenden Anlagen auf dem Energieberg weitere Energiepotenziale erschlossen werden. Zwei der drei vorhandenen Anlagen wurden 2018 durch eine neue 2 MW-Anlage ersetzt, die aber aus Genehmigungsgründen auf 1,5 MW gedrosselt werden muss. Bei einer üblichen Lebensdauer von ca. 20 Jahren ergeben sich für 2030 also keine zusätzlichen Potenziale und das Potenzial entspricht damit dem Ist-Stand.

Tiefengeothermie

Das tiefengeothermische Potenzial wurde der Studie „Potenziale Erneuerbarer Energien in Karlsruhe“ des EIFER-Instituts von 2012 entnommen. Grundsätzlich liegt Karlsruhe in einem geothermischen Gunstraum. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Potenziale deutlich höher liegen. Damit könnte die Tiefengeothermie perspektivisch ein wesentlicher Baustein in der Energieversorgung Karlsruhes sein – insbesondere der Wärmebereitstellung über Fernwärme – und sollte in einer eigenen Vorstudie näher untersucht werden.

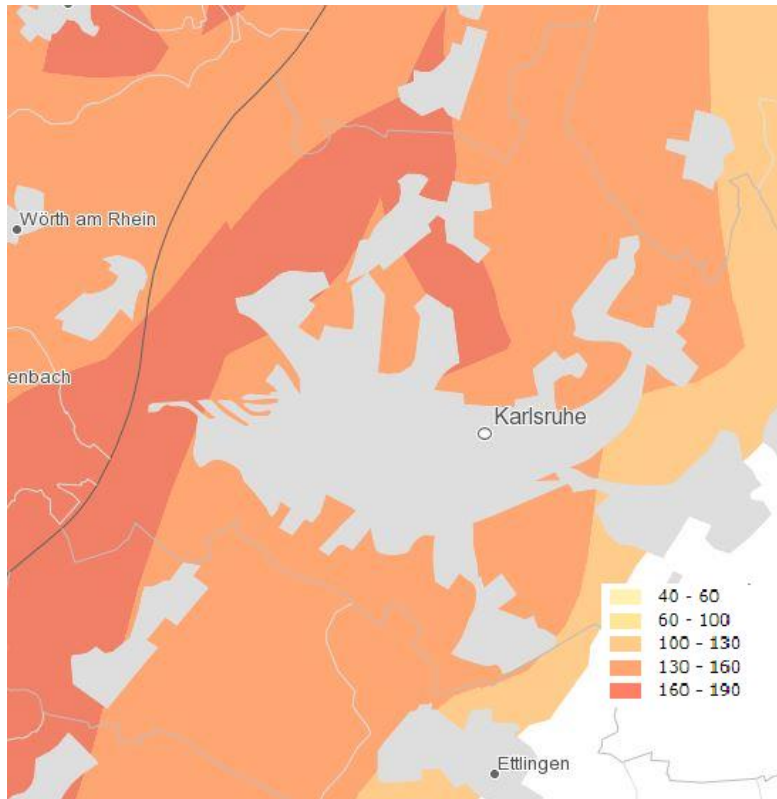


Abbildung 11: Gebiete mit nachgewiesenem hydrothermischem Potenzial; Erreichbare Temperatur [°C] (GeotIS²⁰)

Wärmepumpen

Für die Potenzialanalyse in dieser Studie wurde - bedingt durch die Austauschrate von Heizölkesseln und dem dadurch nötigen Ersatz durch Erneuerbare Energien – für 2030 eine deutliche Zunahme an Wärmepumpen um knapp das 12fache gegenüber dem Stand von 2015 veranschlagt. Dies erfolgt in Anlehnung an die Ausbaukorridore, die zur Erreichung einer 95%igen Minderung der CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2050 berechnet wurden²¹.

Biomasse

Grundlage für die Potenzialberechnung im Biomassebereich bilden die kommunal verfügbaren, stofflichen Mengen. Das sind zum einen die Abfallmengen der Biotonnensammlung, die angelieferten Grüngutmengen der Kompostplätze und zum anderen die Mist- und Güllemengen des Zoos:

²⁰ Geothermisches Informationssystem, www.geotis.de

²¹ Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende

Tabelle 14: Biomasse-Stoffmengen Stadt Karlsruhe (Stand 2017)

Stoffart (in to)	2017	Aktuelle Art der Verwertung	Potenzielle Verwertungspfade
Bioabfall	14.213	Vergärung außerhalb des Stadtgebietes	Vergärung auf dem Stadtgebiet, Carbonisierung
Grüngut Summe (Kompostplätze)	27.011	Kompostierung	
Gemisch	23.274	Kompostierung	Vergärung auf dem Stadtgebiet, Carbonisierung
Gras	508	Kompostierung	Vergärung auf dem Stadtgebiet, Carbonisierung
Laub	945	Kompostierung	Vergärung auf dem Stadtgebiet, Carbonisierung
Astholz	1.151	Kompostierung	Verbrennung
Häckselgut	107	Kompostierung	Verbrennung
Grobholz	828	Kompostierung	Verbrennung
Weihnachtsbäume	198	Kompostierung	Verbrennung
Mist/Gülle Zoo	1.130	Kompostierung	Vergärung auf dem Stadtgebiet, Carbonisierung

Auf Basis dieser Mengen wurden energetische Potenziale berechnet. Für das erschließbare Potenzial bis 2030 wurden lediglich die für eine Verbrennung geeigneten Stoffmengen betrachtet, da der für eine Vergärung gut geeignete Bioabfall vertraglich gebunden ist und außerhalb des Stadtgebietes energetisch genutzt wird. Für das technische Potenzial wurden hingegen alle kommunal verfügbaren Biomassemengen herangezogen und eine Verwertungskombination aus Verbrennung und Vergärung angenommen.

Folgende Parameter sind in die Berechnung eingeflossen:

- Gasausbeute vergärbare Anteile 100 m³/t
- Heizwert Biogas 5,5 kWh/m³
- Heizwert holzige Anteile 4300 kWh/Tonne

Abwärme

Die Potenziale für Abwärme wurden von der Firma IREES im Zuge des DACH-Projekts für Karlsruhe berechnet.

Rahmendaten Szenarien

Die Rahmendaten, die für die Berechnung der Szenarien herangezogen wurden, sind untenstehender Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 15: Bevölkerungsstatistik Stadt Karlsruhe

	2015	2030	Quelle
Einwohner	312.842	336.667	Stadt Karlsruhe (2016): Kleinräumige Bevölkerungsprognose 2035, Verhaltene Szenario
Beschäftigte GHD	151.538	188.977	2015: statistisches Landesamt BaWÜ; Prognosen: CIMA(2018): Aktualisierung der Gewerbeflächen-Bedarfsanalyse Stadt Karlsruhe

5.1.3 Emissionsfaktoren

Tabelle 16: Emissionsfaktoren in g/kWh. Quelle 2015: GEMIS 4,5 (2008)/Bilanz IFEU

	2015	Trend 2030	Klima 2030	Kommentar
Erdgas	228	228	100	Emissionsfaktoren für Szenario Klima in Anlehnung an Interviews mit den Stadtwerken; Klima 2030: über 50% synth./bio Gase
Wärmenetze	155	155	115	Klima 2030: 2/3 Fernwärme 2015, 1/3 erneuerbare Nahwärme
Heizöl	320	320	320	Wert aus 2015 übernommen
Dezentrale EE-Träger	81	40	40	Mix aus Solarthermie, Wärmepumpen und Biomasse; der Emissionsfaktor Wärmepumpe reduziert sich auf Basis des Bundesstrom-Mixes
Nachtspeicherheizung	540	346	216	Emissionsfaktor Nachtspeicherheizung reduziert sich auf Basis des Bundesstrom-Mixes
Sonstige Industrie	140	140	-	Wert aus 2015 übernommen
Kohle	365	365	365	Wert aus 2015 übernommen
Bundesstrommix	540	346	216	Werte aus: Öko-Institut (2017): Klimaschutzziel und -strategie München 2050, Trend: Szenario Klimaschutz moderat; Klima: Szenario Klimaneutrales München
Kraftstoffe	285	285	285	Wert aus 2015 übernommen

5.2 Quellenverzeichnis

5.2.1 Literatur

Abschlussbericht der Studie Mobiles Baden Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität (2018), Herausgegeben von der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

Anwendungsbilanzen 2013 bis 2016 für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

BMUB (2016), Klimaschutzplan 2050, Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung

Climate Change 26/2017; Klimaneutraler Gebäudebestand

Diefenbach (2013): Wohnflächen und Häufigkeiten im deutschen Wohngebäudebestand / Basis-Typen / Baujahr bis 2009, Stand: Mai 2011

Entwicklung von Instrumenten und Maßnahmen - Nachhaltige Mobilität in Baden-Württemberg: Wissenschaftliche Begleitung eines Klimaschutz-Szenarios im Verkehr; Universität Stuttgart, Institut für Strassen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, PTV Consult GmbH; Auftraggeber: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg; 30.9.2017

Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende

Freiburg - Fortschreibung Klimaschutzkonzept 2018, S.91 Tabelle 4-8; Öko-Institut e.V., Januar 2019

IFEU (2015), Stromeinspareffekte durch Energieeffizienz und Energiesuffizienz im Haushalt

IFEU et al (2017): Energie- und Klimaschutzziele 2030, im Auftrag des Landes Baden-Württemberg

IRRES (2018): Prozessemissionen in der deutschen Industrie und ihre Bedeutung für die nationalen Klimaschutzziele Problemdarstellung und erste Lösungsansätze

IWU (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden

Klimaschutzplan 2050; Klimaschutzpolitische Grundsätze und Zielsetzungen der Bundesregierung; BMU November 2016

Klimaschutzgesetz Land Baden-Württemberg 2013

Klimaschutzziel und -strategie 2050 München, S. 150 Tabelle 6-1; Endbericht Öko-Institut e.V., Juli 2017

KEK et al (2011), Machbarkeitsstudie klimaneutrales Karlsruhe 2050

Lewald et al (2012); Potenziale Erneuerbarer Energien in Karlsruhe

Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München (IfE) (2017): Erstellen der Anwendungsbilanzen 2013 bis 2016 für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Masterplan 100% Klimaschutz der Landeshauptstadt Stuttgart; Fraunhofer IBP, Universität Stuttgart Bericht-Nr. WB 198/2017

Öko-Institut/Fraunhofer ISI, Klimaschutzszenario 2050

Solar-Institut Jülich der FH Aachen (2016): Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung

Stadt Karlsruhe (2009): Klimaschutzkonzept Karlsruhe

Stadt Karlsruhe (2016): Kleinräumige Bevölkerungsprognose 2035

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

UBA (2013): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050

UBA-Webinar vom 26. Oktober 2018: CLIMATE CHANGE 05/2019 - Für Mensch & Umwelt: Neue Erkenntnisse aus dem IPCC-Sonderbericht über 1,5 °C globale Erwärmung. Dokumentation des UBA-Webinars vom 26. Oktober 2018; Dessau-Roßlau, März 2019

VEP Karlsruhe (2013): Umweltbericht

WGBU (2018): Zeit-gerechte Klimapolitik: Vier Initiativen für Fairness

Zensus (2011)

ZSW et al (2017), Energie-und Klimaschutzziele 2030

5.2.2 Onlinequellen

<https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050>

<http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/projekte/q/bPFnZ> (zuletzt abgerufen am 26.11.2018)

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/SR1.5-SPM_de_barrierefrei-2.pdf

https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/217/berechnung-co2-emissionen